

# Table des matières

<b>Avant-propos</b> . . . . .	1
<b>Chapitre 1. Un bref historique de la spectroscopie infrarouge planétaire</b> . . . . .	3
1.1. Les premiers spectres planétaires . . . . .	3
1.2. La spectroscopie planétaire par transformée de Fourier . . . . .	4
1.3. La spectroscopie infrarouge planétaire dans l'espace . . . . .	8
1.4. La spectro-imagerie des planètes depuis les télescopes terrestres . . . . .	10
1.5. La spectroscopie des planètes dans le domaine (sub)millimétrique . . . . .	11
<b>Chapitre 2. Les bases de la spectroscopie infrarouge planétaire</b> . . . . .	13
2.1. Les planètes du Système solaire . . . . .	13
2.2. La structure d'une atmosphère planétaire . . . . .	15
2.3. Le spectre infrarouge d'une planète . . . . .	18
2.3.1. La température d'équilibre . . . . .	18
2.3.2. Le spectre électromagnétique d'une planète . . . . .	20
2.4. Une introduction au transfert radiatif . . . . .	22
2.4.1. La composante solaire réfléchie . . . . .	23
2.4.2. La composante thermique . . . . .	24
2.4.3. La fluorescence dans les atmosphères planétaires . . . . .	26
2.4.4. Éléments de spectroscopie moléculaire . . . . .	27
2.4.4.1. La largeur de raie et le profil de raie . . . . .	28
2.4.4.2. Exemples de spectres infrarouges . . . . .	30
2.4.4.3. Les bases de données spectroscopiques . . . . .	32
2.5. Le spectre infrarouge de l'atmosphère terrestre . . . . .	33

---

<b>Chapitre 3. Vénus</b> . . . . .	<b>35</b>
3.1. L'atmosphère de Vénus. . . . .	35
3.2. Le spectre de Vénus dans l'infrarouge proche . . . . .	38
3.2.1. La composante thermique observée du côté nuit. . . . .	38
3.2.2. L'observation de la mésosphère par Venus Express . . . . .	40
3.3. Le spectre de Vénus dans l'infrarouge moyen et lointain . . . . .	41
3.3.1. L'observation de la mésosphère par Venera 15 . . . . .	42
3.3.2. L'observation par spectro-imagerie depuis le sol . . . . .	44
3.4. Le spectre millimétrique et submillimétrique de Vénus. . . . .	44
<b>Chapitre 4. Mars</b> . . . . .	<b>47</b>
4.1. L'atmosphère de Mars . . . . .	47
4.2. Le spectre solaire réfléchi de Mars (infrarouge proche). . . . .	48
4.2.1. La première mesure du cycle de l'eau par Viking . . . . .	48
4.2.2. La mesure du rapport D/H dans l'atmosphère de Mars . . . . .	49
4.2.3. Le méthane martien, mythe ou réalité ? . . . . .	50
4.2.4. La spectro-imagerie en orbite dans l'infrarouge proche . . . . .	50
4.2.5. Les mesures par occultations solaires et stellaires . . . . .	52
4.3. Le spectre de Mars dans l'infrarouge moyen et lointain. . . . .	53
4.3.1. La mesure des cycles saisonniers de Mars . . . . .	55
4.3.2. L'étude des espèces mineures dans le domaine thermique. . . . .	55
4.3.2.1. La spectroscopie hétérodyne à 10 $\mu\text{m}$ . . . . .	55
4.3.2.2. La cartographie de $\text{H}_2\text{O}$ et de $\text{H}_2\text{O}_2$ . . . . .	55
4.4. Le spectre de Mars dans le domaine (sub)millimétrique . . . . .	56
<b>Chapitre 5. Les planètes géantes</b> . . . . .	<b>59</b>
5.1. L'atmosphère des planètes géantes . . . . .	59
5.2. Le spectre des planètes géantes dans l'infrarouge proche. . . . .	61
5.2.1. Jupiter et Saturne . . . . .	62
5.2.2. Uranus et Neptune . . . . .	64
5.3. Le spectre des planètes géantes dans l'infrarouge moyen et lointain . . . . .	66
5.3.1. La fenêtre à 4,5-5 $\mu\text{m}$ . . . . .	66
5.3.2. La fenêtre à 7-13 $\mu\text{m}$ . . . . .	68
5.3.3. Le spectre des planètes géantes dans l'infrarouge lointain . . . . .	68
5.4. Le spectre thermique des planètes géantes, du submillimétrique au centimétrique. . . . .	72

<b>Chapitre 6. Les satellites extérieurs et les planètes naines . . . . .</b>	<b>75</b>
6.1. Titan . . . . .	75
6.1.1. De Voyager à Cassini-Huygens. . . . .	75
6.1.2. Les mesures depuis le sol dans l'infrarouge et le (sub)millimétrique . . . . .	82
6.2. Triton et Pluton . . . . .	83
6.2.1. Triton . . . . .	83
6.2.2. Pluton . . . . .	85
6.3. Io . . . . .	86
6.4. Les objets dotés d'une atmosphère transitoire . . . . .	88
6.4.1. Encelade . . . . .	88
6.4.2. Les satellites galiléens . . . . .	88
6.4.3. Cérès . . . . .	90
<b>Chapitre 7. Les exoplanètes . . . . .</b>	<b>91</b>
7.1. L'exploration des exoplanètes . . . . .	91
7.1.1. La méthode de vélocimétrie . . . . .	91
7.1.2. La méthode des transits . . . . .	92
7.1.3. La détection des exoplanètes par imagerie directe. . . . .	93
7.2. L'atmosphère des exoplanètes. . . . .	94
7.3. La spectroscopie des atmosphères exoplanétaires . . . . .	96
7.3.1. La spectroscopie Doppler à haute résolution . . . . .	96
7.3.2. La spectroscopie par transit des exoplanètes . . . . .	97
7.3.2.1. Le transit primaire . . . . .	97
7.3.2.2. Le transit secondaire . . . . .	98
7.3.3. La spectroscopie par la technique d'imagerie . . . . .	102
<b>Chapitre 8. Conclusions et perspectives . . . . .</b>	<b>103</b>
8.1. L'avenir de la spectroscopie infrarouge planétaire au sol . . . . .	103
8.1.1. L'ère des ELTs . . . . .	103
8.1.1.1. Les atmosphères planétaires . . . . .	104
8.1.1.2. Les exoplanètes. . . . .	104
8.1.2. L'apport du réseau d'antennes ALMA . . . . .	105
8.2. L'apport du JWST. . . . .	106
8.2.1. Les objets du Système solaire. . . . .	106
8.2.2. Les exoplanètes . . . . .	107
8.3. Les missions spatiales futures . . . . .	108

8.3.1. Les missions vers Jupiter . . . . .	108
8.3.2. Les missions vers Vénus. . . . .	109
8.3.3. La mission Ariel pour l'étude des exoplanètes. . . . .	109
8.4. L'évolution des techniques. . . . .	110
8.4.1. La mise en ligne des codes de transfert radiatif . . . . .	110
8.4.2. Les techniques de <i>retrieval</i> . . . . .	111
8.4.3. Les modèles climatiques globaux (GCMs). . . . .	112
<b>Glossaire</b> . . . . .	<b>115</b>
<b>Bibliographie</b> . . . . .	<b>119</b>
<b>Index</b> . . . . .	<b>133</b>